

Filière : SMP/SMC S2

Module : Physique 2

Elément de module : Optique 1

<http://najib-optique.volasite.com>

Année Universitaire 2011-2012



RÉSUMÉ DU COURS D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Chapitre I : Principes et lois de l'optique géométrique

I.1- Onde plane progressive monochromatique : la composante du champ électromagnétique s'écrit :

$$s(M, t) = s_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

le sens de propagation et la fréquence sont fixes.

$$\varphi = 2\pi z/\lambda = 2\pi \vec{r} \cdot \vec{u} / \lambda = \vec{K} \cdot \vec{r} ; \lambda = vT \text{ (longueur d'onde ou période spatiale)}$$

T : période temporelle ; \vec{K} : vecteur d'onde ; $\vec{u}(\alpha, \beta, \gamma)$: vecteur unitaire définissant le sens de propagation.

I.2- Indice absolu de réfraction : $n = \frac{c}{v}$

- **Milieu homogène** : $n = \text{cste}$
- **Milieu dispersif** : $n = n(\lambda)$

I.3- Chemin optique : $L = \int n d\ell = c \Delta t$

Dans un MHTI d'indice n: $L = (AA') = n AA'$

I.4- Principe de Fermat : le chemin optique L est extrême ou stationnaire (cste) ; minimal dans un MHTI.

I.5- Principes de l'optique géométrique :

- **Principe de propagation rectiligne dans un MHTI** : la trajectoire est rectiligne
- **Principe de retour inverse** : la lumière ne dépend pas du sens de parcours d'une trajectoire.

I.6- Lois de Snell-Descartes :

- **Réflexion** : $|i| = |r|$
- **Réfraction** : $n \sin i = n' \sin i'$

I.7- Réfraction limite – Angle d'incidence critique - Réflexion totale

- Si $n < n'$, il y a réfraction si $i' \leq i_l = \text{Arcsin}(n/n')$
- Si $n > n'$, il y a réfraction si $i \leq i_c = \text{Arcsin}(n'/n)$: angle d'incidence critique
- Si $n > n'$ et $i > i_c$, il y a réflexion totale

I.8- Prisme :

- **Formules du prisme** : $\sin i = n \sin r$; $\sin i' = n \sin r'$; $A = r + r'$; $D = i + i' - A$
- **Propriétés du prisme** : il dévie une onde monochromatique vers la base et disperse une onde polychromatique.

Chapitre II : Formation des images en optique géométrique

II.1- Système dioptrique centré : Association de MHTI séparés par des dioptries ou miroirs

- **Système dioptrique** : il ne contient que des dioptries
- **Système catadioptrique** : il comporte en plus de dioptries un miroir
- **Système catoptrique** : il ne contient que des miroirs

II.2- Stigmatisme rigoureux

Il y a stigmatisme rigoureux pour l'objet A et son image A' si A et A' (points de l'axe optique) sont parfaitement ponctuels. Soit si :

$$L = (AA') = \text{cste} \quad \forall \text{ le trajet}$$

- **Condition d'aplanétisme ou des sinus d'Abbe** : $n' \overline{A'B'} \sin \alpha' = n \overline{AB} \sin \alpha$ (stigmatisme rigoureux pour les points de front B et B' voisins de A et A')
- **Condition d'Herschel** : $n' \overline{A'C'} \sin^2 \frac{\alpha'}{2} = n \overline{AC} \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ (stigmatisme rigoureux pour les points C et C' de l'axe optique voisins de A et A')

II.3- Stigmatisme approché – Approximation de Gauss

Les angles α et α' sont faibles (approximation des rayons paraxiaux).

II.4- Dioptré sphérique

- **Invariant fondamental** :

$$n \frac{\overline{CA}}{\overline{IA}} = n' \frac{\overline{CA'}}{\overline{IA'}} \quad (\text{condition du stigmatisme rigoureux ou points de Weierstrass})$$

- **Relations de conjugaison** : θ faible ; $I \neq S$

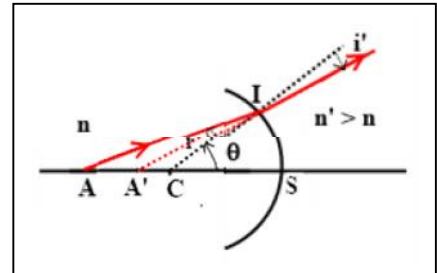
$$\text{Origine en C : } \frac{n'}{\overline{CA}} - \frac{n}{\overline{CA'}} = \frac{n' - n}{\overline{CS}}$$

$$\text{Origine en S : } \frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = \frac{n' - n}{R} = V = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$

$R = \overline{SC}$: rayon de courbure

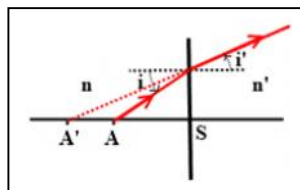
V : vergence; si $V > 0$ dioptré convergent, si $V < 0$ dioptré divergent

- **Distances focales** : $f = \overline{SF} = \frac{n \overline{SC}}{n - n'}$; $f' = \overline{SF'} = \frac{n' \overline{SC}}{n' - n}$
- **Grandissement transversal** : $\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n}{n'} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$

**II.5- Dioptré plan**

$$R = \overline{SC} \rightarrow \infty$$

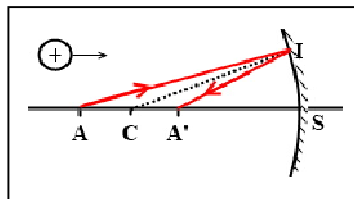
$$\text{Le centre est situé à l'infini : } \frac{n'}{\overline{SA'}} = \frac{n}{\overline{SA}}$$

**II.6- Miroir sphérique**

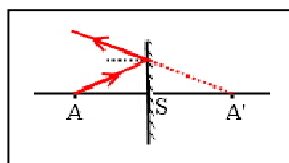
- **Relations de conjugaison** :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}} = -V$$

$$\frac{1}{\overline{CA}} + \frac{1}{\overline{CA'}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$



- **Grandissement transversal** : $\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$

II.7- Miroir plan : $\overline{SA'} = -\overline{SA}$ 

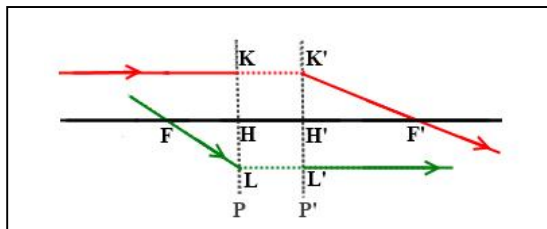
Chapitre III : Systèmes optiques dans l'approximation de Gauss

III.1- Éléments cardinaux :

Ce sont les foyers (F, F') et les plans focaux P_F et $P_{F'}$, les points principaux (H, H') et les plans principaux P et P' ; et les points nodaux (N, N').

- **Foyers principaux F et F'** : F est le conjugué d'une image située à l'infini sur l'axe; F' est l'image d'un objet rejeté à l'infini.
- **Plans principaux**: Les plans principaux P et P' sont deux plans de front conjugués correspondant à un grandissement transversal égal à l'unité: $\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = +1$. L'intersection de P et P' avec l'axe optique donne les points principaux H et H' . La distance: $e = \overline{HH'}$ est appelée **interstice** du système.

Conséquence: A tout rayon passant par un point K de P correspond un rayon émergent passant par un point K' de P' situé à la même distance que K . On représente donc le système par le **schéma équivalent** suivant



Les distances focales objet et images s'écrivent: $f = \overline{HF}$ et $f' = \overline{H'F'}$

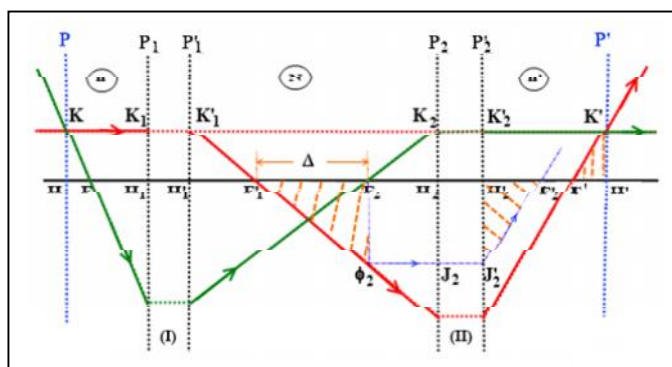
- **Points nodaux**: ce sont deux points (N, N') de l'axe optique tel qu'à tout rayon incident passant par N correspond un émergent parallèle à l'incident et passant par N' . Ce sont aussi des points tel que le **grossissement** (ou **grandissement angulaire**) du système est égal à l'unité: $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = +1$

On montre que: $f' = \overline{H'F'} = \overline{FN}$; $f = \overline{HF} = \overline{F'N'}$

III.2- Formules de conjugaison

- **Origines en H et H'** : $\frac{n'}{H'A'} - \frac{n}{HA} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$ ou $\frac{f'}{H'A'} + \frac{f}{HA} = 1$; on pose: $p = \overline{HA}$ et $p' = \overline{H'A'}$
- **Origines en F et F'** : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = f \cdot f'$; on pose: $\sigma = \overline{FA}$ et $\sigma' = \overline{F'A'}$
- **Grandissement transversal**: $\gamma = \frac{n}{n'} \frac{\overline{H'A'}}{\overline{HA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$

III.3- Association de deux systèmes centrés :



- **Distances focales** : $f' = -\frac{f'_1 \cdot f'_2}{F'_1 F'_2}$ et $f = \frac{f_1 \cdot f_2}{F_1 F_2}$;
- **Vergence** :

$$V = V_1 + V_2 - \frac{H'_1 H_2}{N} V_1 \cdot V_2 \text{ (Formule de Gullstrand)}$$
- **Centre optique d'une lentille épaisse** : si milieux extrêmes identiques $\frac{\overline{OS}}{\overline{OS'}} = \frac{\overline{CS}}{\overline{CS'}}$
 - **Lentilles minces** : l'épaisseur e est négligeable devant les rayons R_1 et R_2 des dioptries .

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} = V = V_1 + V_2 ; \gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Chapitre IV : Instruments d'optique visuels

IV.1- Œil - Vision

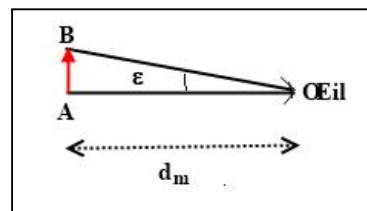
On modélise l'œil par:

- une lentille convergente mince de focale accordable et un écran de projection jouant le rôle de la rétine ;
- un dioptré sphérique et un écran.
- **Champ en profondeur de l'œil** : l'œil possède deux points particuliers de vision nette ;
- le **punctum proximum** PP: c'est le point le plus proche de l'œil permettant une vision distincte ;
- le **punctum remotum** PR: le point le plus éloigné de l'œil pour lequel la vision est nette.

L'espace situé entre le PP et le PR est appelé champ en profondeur de l'œil.

Pour un œil normal, le PP est à la distance $d_m = \overline{OP} = -25\text{cm}$: **distance minimale de vision distincte** ; le PR est situé à $d_M = \overline{OR} \rightarrow \infty$ **distance maximale de vision distincte** ; P étant le **punctum proximum** et R le **punctum remotum**

- **Amplitude dioptrique** : $\Delta V = \frac{1}{d_M} - \frac{1}{d_m}$
- **Acuité visuelle** : $\varepsilon = \frac{AB}{d_m}$



- **Défauts de l'œil**
 - **Myopie** : œil trop convergent ; correction : lentille divergente
 - **Hypermétropie** : œil pas assez convergent ; correction : lentille convergente
 - **Presbytie** : défaut dû à l'âge ; correction : lentille convergente

IV.1- Généralités sur les instruments d'optique

- **Latitude de mise au point** : l'objet doit être placé entre les points A_R et A_P pour qu'il soit nettement visible ; le punctum remotum R = image de A_R à travers l'IO ; le punctum proximum $P = \text{Im}(A_P)$; la distance :

$$\ell = \overline{A_R A_P}$$

est appelée : **latitude de mise au point** de l'IO.

- **Grossissement** : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

α' : l'angle sous lequel est vue l'image de l'objet AB par l'œil à travers l'IO ;

α : diamètre apparent sous lequel l'objet est vu à l'œil nu.

- **Grossissement commercial** : objet AB au PP ; image donnée par l'IO au PR.

- **Puissance de l'IO** : $P = \left| \frac{\alpha'}{AB} \right| = \left| \frac{1}{f'} \left(1 - \frac{\overline{OF'}}{\overline{OA'}} \right) \right|$

- **Puissance intrinsèque** : $O \equiv F'$ ou image finale rejetée à l'infini ; $P = \frac{1}{|f'|}$

IV.2- Exemples d'IO

- **Loupe** : lentille convergente de courte distance focale ; elle sert à agrandir un objet placé entre son centre et son point focal objet.
- **Rétroprojecteur** : constitué principalement d'une puissante source de lumière et d'un objectif ; il sert à projeter des transparents sur un écran.
- **Microscope** : constitué d'un objectif et d'un oculaire assimilables à des lentilles convergentes minces ; l'objectif donne une image intermédiaire, l'oculaire joue le rôle d'une loupe.
- **Lunette astronomique** : constitué d'un objectif dioptrique et d'un oculaire ; il sert à rapprocher des objets pas assez larges situés à grandes distances.
- **Télescope** : constitué d'un objectif catoptrique et d'un oculaire ; il sert à rapprocher des objets larges situés à grandes distances.